جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و شش، تابستان ۱۳۹۷

صص ۱۶۷- ۱۵۱

DOI: 10.22067/geo.v0i0.67237

تحلیل خطر زمین‌لرزه بر اساس بیشینه شتاب با استفاده از رهیافت تعیینی (مطالعه موردی: شهرستان سمنان)

فاطمه نیکوکار[1]- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه پیام‌نور مرکز تهران شرق، ایران.

محمد آریامنش- دانشیار ژئوفیزیک، دانشگاه پیام‌نور مرکز تهران شرق، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۴/۱۱

چکیده

کشور ایران به دلیل شرایط زمین‌شناسی و جغرافیایی خاص، همیشه در معرض خطرات طبیعی مختلفی بوده است. یکی از این بلایا، زمین‌لرزه است که آسیب‌های قابل توجهی را بر پیکره اقتصادی و اجتماعی کشور تحمیل کرده است. این مسئله به‌ویژه در مناطق دارای گسل‌های فعال تهدیدی جدی محسوب شده و هر ساله خسارت‌های جانی و مالی غیرقابل اغماضی به بار می‌آورد. ازاین‌رو توجه به اهمیت مکان‌یابی و پهنه‌بندی مناطق پرخطر از نظر دارا بودن پتانسیل خطر لرزه‌خیزی امری ضروری و قابل‌توجه است. بر همین اساس در پژوهش حاضر با استفاده از رهیافت تعینی به تعیین مناطق پرخطر لرزه‌خیز پرداخته شده است. به همین منظور گسل‌های منفرد و سامانه‌های گسلی مهم موجود در منطقه ابتدا به کمک تکنیک‌های سنجش‌ازدور، روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ شناسایی شدند. در گام بعدی با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و تکتونیکی منطقه به قطعه‌بندی زمین‌شناختی و لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه پرداخته شد و سازوکار گسل‌ها مشخص شدند و نقشه رقومی گسل‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. سپس با استفاده از معادلات تجربی معتبر، بیشینه بزرگای مورد انتظار گسل‌های اصلی منطقه محاسبه و میانگین‌گیری انجام شد. درنهایت با انتخاب چند رابطه کاهندگی معتبر بیشینه شدت و شتاب افقی زمین‌لرزه برای منطقه مورد مطالعه، با استفاده از رهیافت تعینی، محاسبه شده و میانگین مقادیر محاسبه شده به‌عنوان بیشینه شدت و شتاب زمین مربوط به هر گسل، برای تحلیل خطر منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد بیشینه شدت زمین‌لرزه بیش از $VIII^{+}$ مرکالی و کمترین میزان آن نیز V مرکالی است. هم‌چنین میزان بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه ۰/۳۷g و کمترین مقدار آن نیز ۰/۰۵g بود. بر همین اساس طبق نتایج به‌دست آمده مناطق با پتانسیل خطرپذیری کم، دارای

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۵۴۲۶۳۶ Email: nikookar.fa@gmail.com

خطر متوسط، خطرپذیری بالا و مناطق با خطرپذیری بسیار بالا، بر اساس مقادیر بیشینه شدت زمین‌لرزه به ترتیب، ۱۷/٤٥، ٢٤/٨١، ٣٣/٦٢ و ٢٤/١٠ درصد و بر اساس مقادیر بیشینه شتاب زمین‌لرزه به ترتیب، ٣٦/٣٤، ٢٩/٧٧، ١٧/٧٢ و ١٦/١٧ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. درنهایت به‌منظور بررسی میزان صحت پژوهش انجام شده نتایج حاصله با نمونه‌های رخداد واقعیت زمینی تطابق داده شد و نتایج نشان دهنده تطابق قابل ملاحظه نتایج به دست آمده با واقعیت زمینی بود.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لرزه، سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش قطعی، تحلیل خطر تعینی.

۱- مقدمه

زمین‌لرزه به‌عنوان مخرب‌ترین حادثه طبیعی، یکی از مهم‌ترین عوامل تلفات بشری و خسارات اقتصادی قابل توجه در کشور ما محسوب می‌شود (قهرودی‌تالی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به موقعیت خاص جغرافیایی و زمین‌شناسی کشورمان و قرارگیری آن در کمربند زمین‌لرزه‌خیز آلپ هیمالیا، به‌طور متوسط هر ساله حدود ۲۵۰ زمین‌لرزه با بزرگی ٤ تا ٤/٩ در مقیاس امواج درونی زمین، ۲۵ زمین‌لرزه با بزرگی بین ۵ تا ۵/۹ و دو زمین‌لرزه با بزرگی ٦ تا ٦/٩ رخ می‌دهد. این در حالی است که احتمال رخداد زمین‌لرزه با بزرگی ۷ تا ۷/۹ هم حدوداً ۰/۲ است؛ به‌عبارتی هر پنج سال یک مورد از چنین زمین‌لرزه‌های به وقوع می‌پیوندد (زارع، ١٣٨٤). در همین راستا سوابق و گزارش‌های تاریخی نشان می‌دهد ساالنه زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی مناطق مختلف کشورمان را لرزانده و باعث مرگ‌ومیر تعداد زیادی از هم‌وطنانمان شده است. بر این اساس، ایران به عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین کشورها در برابر زمین‌لرزه‌ها معرفی شده است؛ به‌صورتی که طبق آمارهای موجود ایران جزء ده کشور حادثه‌خیز دنیا می‌باشد (مرکز تحقیقات زیست‌محیطی تهران، ۱۳۸۰). این آسیب‌پذیری از دو عامل جای‌گیری شهرها و روستاها در مناطق زمین‌لرزه‌خیز کشور و ساخت‌وسازهای غیرمقاوم در برابر زمین‌لرزه ناشی می‌شود. بر همین اساس برای جلوگیری و کاهش خسارات جانی و مالی راهکارهای مدیریتی گوناگونی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است که از جمله از این راهکارها می‌توان به پیش‌بینی و پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل خطر لرزه‌خیری اشاره نمود. برای تحلیل خطر زمین‌لرزه و پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل خطر از دو روش تعینی (DSHA)[1] و احتمالاتی (PSHA)[2] استفاده می‌شود. روش احتمالی روشی است که با استفاده از آن می‌توانیم برخی از عدم قطعیت‌های موجود در خطر زمین‌لرزه را مدل کنیم. اما تمام عدم قطعیت‌های موجود در خطرلرزه‌ای ماهیت احتمالی ندارند و با روش احتمالی نمی‌توان آنها را مدل کرد.

در همین راستا در داخل کشور، تاکنون مطالعات ارزشمندی درباره گسل‌ها و مشخص نمودن نواحی آسیب‌پذیر صورت گرفته از جمله صفایی در طرح پژوهشی گسل‌های جدیدی در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر اصفهان شناسایی

1 Deterministic
2 Probabilistic

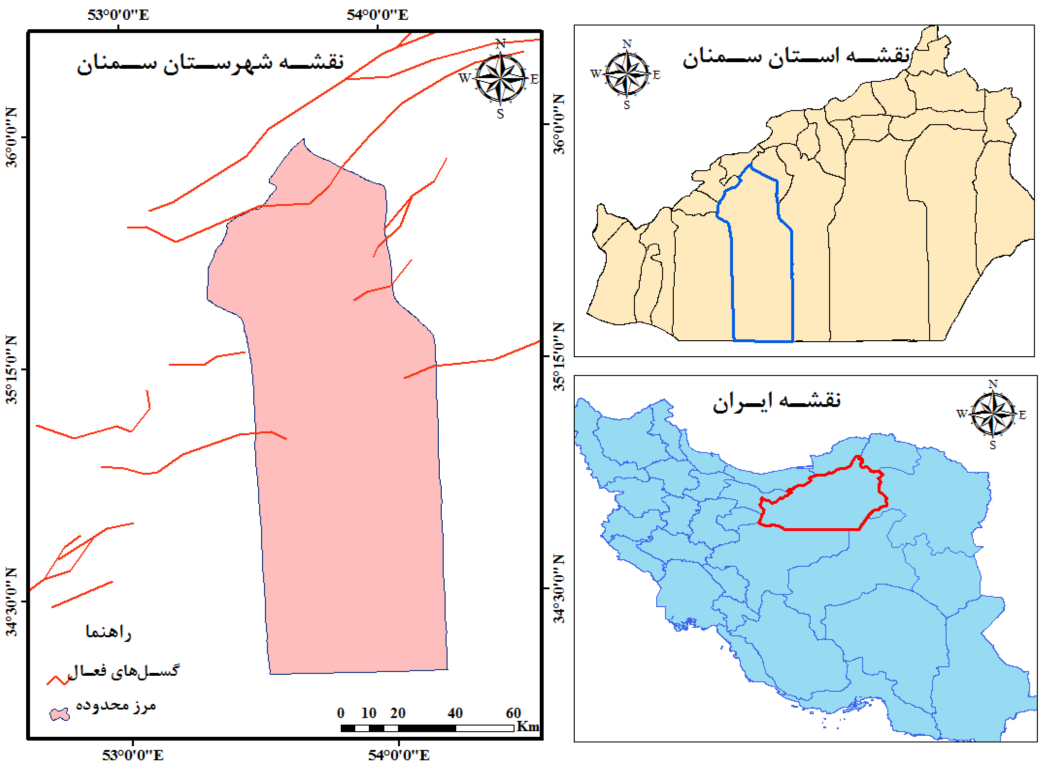
کرده است (صفایی،۱۳۸۲)، هم‌چنین شاهپسندزاده و حیدری لرزه زمین‌ساخت و تاریخچه لرزه‌خیزی استان اصفهان به‌صورت مقدماتی را بررسی کرده‌اند (شاهپسندزاده و حیدری، ۱۳۸۲). از سوی دیگر مهاجر اشجعی به ثبت و تفسیر زمین‌لرزه‌های مناطق اصفهان و شهرکرد پرداخت (مهاجر اشجعی،۱۳۶۰). حاتمی‌نژاد و همکاران میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر در منطقه ۱۰ تهران را ارزیابی کردند (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸). در زمینه پژوهش‌های خارجی King & Kiremidndjian در پژوهشی در منطقه پلوآلتو کالیفرنیا خطر زمین‌لرزه و تخمین خسارات ناشی از آن را با سیستم اطلاعات جغرافیایی بررسی کرده‌اند (King & Kiremidndjian, 1995). در این پژوهش بعد از بررسی لایه-های مختلف، درنهایت نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج گردیده است. Matsuoka در پژوهشی نقشه خطر لرزه‌ای برای یک کلان‌شهر با نواحی اطرافش را با استفاده از پایگاه‌های داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در ژاپن تهیه کرده – است (Matsuoka, 1995). Lee et al (2000) به تجزیه‌وتحلیل خطر لرزه‌ای در منطقه هنگ‌کنگ بر اساس زمین‌لرزه‌های ثبت شده پرداخته‌اند. Yuan (2003) راه‌های توسعه استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه را مورد بررسی قرار داده‌است. Kamp et al (2008) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به بررسی و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزه برای زمین‌لرزه سال ۲۰۰۵ منطقه کشمیر پرداخته‌اند. Feng et al (2008) در پژوهشی به شبیه‌سازی فاجعه زمین‌لرزه برای یک منطقه شهری با ادغام داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، CAD، VR و FEA پرداخته‌اند. به همین دلیل تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه و لرزه‌خیزی برای هر منطقه به عنوان یکی از مهم‌ترین تحقیقات پایه در طرح‌های عمرانی تلقی می‌گردد. مطالعات لرزه‌خیزی یک منطقه نیازمند وجود اطلاعات لرزه‌ای است و مادامی که این اطلاعات کامل نباشد، تحلیل درستی از وضعیت لرزه‌خیزی به دست نخواهد آمد. بخشی از این اطلاعات به میزان ذخیره و دقت داده‌های لرزه‌ای دستگاهی و تاریخی و بخش دیگری به ارزیابی‌های نوزمین‌ساخت و زمین‌ساخت فعال در آن منطقه بستگی دارد. استان سمنان به لحاظ وسعت، ششمین استان کشور محسوب می‌شود. بخش صنعت استان به خاطر نزدیکی به استان تهران، دارا بودن شبکه ارتباطی پیشرفته و راه‌آهن با استان‌های تهران، خراسان، مازندران و جنوب کشور (به‌ویژه راه جدیدالاحداث استان سمنان به استان اصفهان) و کشف ذخایر معدنی مهم، طی سال‌های اخیر از اهمیتی ویژه برخوردار شده است. در این پژوهش ضمن بازنگری موقعیت گسل‌های فعال و هم‌چنین با استفاده از برآورد توان لرزه‌زایی هر کدام از گسل‌ها مدل پهنه‌بندی تعینی نیز برای منطقه مورد مطالعه ارائه خواهد شد بر اساس نتایج به‌دست آمده از بیشینه شتاب افقی هر گسل، منطقه مورد مطالعه به پهنه‌های دارای پتانسیل خطر لرزه‌خیزی مختلف تقسیم بندی خواهد شد. تحلیل خطر زمین‌لرزه در پژوهش حاضر بر اساس روش تعینی انجام شده است. در واقع مزیت روش تعینی این است که نیاز به تحلیل‌های آماری زمین‌لرزه‌ها برای تعیین فرآیندهای وابسته به زمان در رویداد زمین‌لرزه‌ها مانند نرخ لغزش و نرخ رویداد سالانه زمین‌لرزه ندارد. شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا و تحلیل‌خطرلرزه‌ای به روش تعینی ارتباط مستقیم با فعالیت‌های

زمین‌ساخت جوان دارد. فعالیت‌هایی که حتی احتمال وقوع آن‌ها می‌تواند جوامع بشری را تهدید نماید. امروزه دامنه کاربرد این گونه مطالعات بیش از پیش گسترش یافته و به عنوان مطالعات زیر بنایی برای توسعه خطوط انتقال آب، گاز و نفت، احداث سازه‌های مختلف از جمله تونل، جاده، سد، خط آهن و نیروگاه‌ها در یک منطقه، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. در همین راستا تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است.

۲- مواد و روش

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در شهرستان سمنان به مساحت ۱۱۰۱۷/۸ کیلومتر مربع که از غرب به شهرستان گرمسار و بخش فیروز کوه، از شرق به شهرستان دامغان، از جنوب به کویر مرکزی ایران، شهرستان نائین و استان اصفهان و از شمال به شهرستان ساری در استان مازندران محدود می‌شود صورت گرفته است. حداکثر ارتفاع شهرستان از سطح دریا ۲۰٦۵ متر و در حداقل طول شرقی۵۲ درجه و ٤٦ دقیقه و حداقل عرض شمالی ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه واقع شده است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان سمنان و هم‌چنین گسل‌های فعال منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

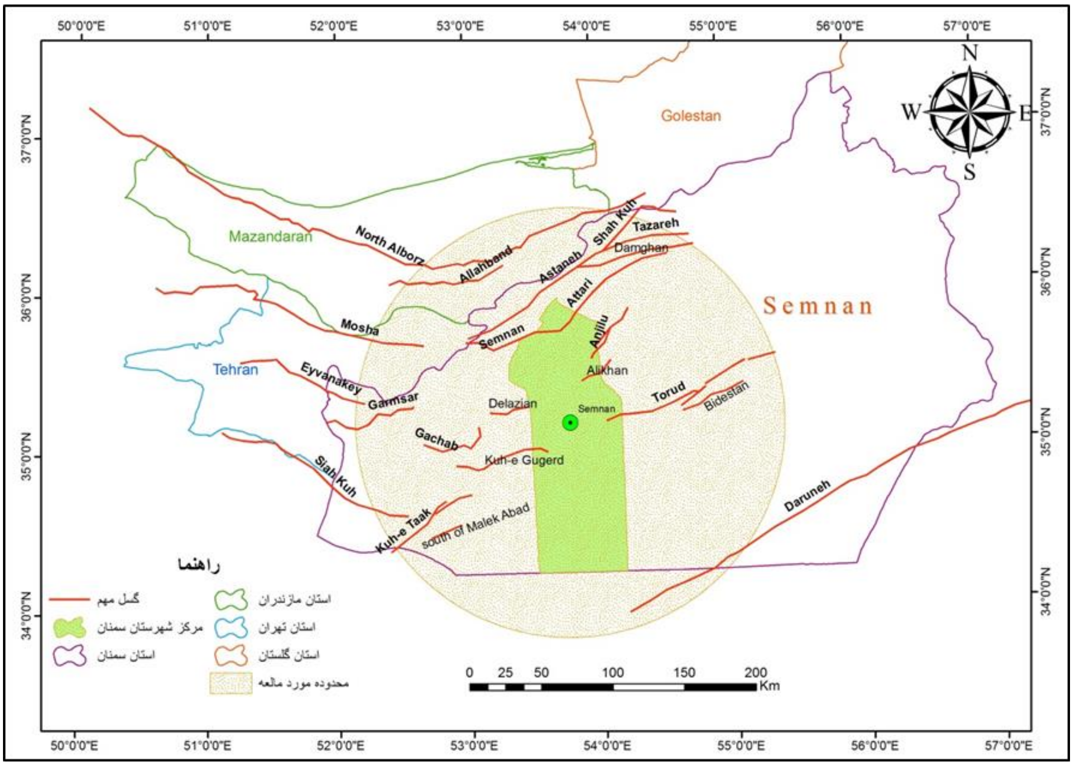


شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

۲-۲- مراحل تحلیل خطر زمین‌لرزه با رهیافت تعینی

۲-۲-۱- تعیین منابع (چشمه‌های) لرزه‌زا در منطقه مورد مطالعه

به‌طور کلی چشمه لرزه‌ای به سه دسته نقطه‌ای، خطی و پهنه‌ای یا سطحی تقسیم‌بندی می‌شود. در این مرحلـه لـازم است تا تمامی سرچشمه‌های خطی (گسل‌ها) که می‌توانند احتمالاً موجب یـک زمین‌لـرزه مخـرب شـوند، شناسـایی شده و با توجه به اصول موجود در قطعه‌بندی چشمه‌های خطی این سرچشمه‌ها در صورت نیـاز، قطعه‌بنـدی شـده و هر یک از این قطعات به صورت مجزا در نظر گرفته شده است (زارع، ۱۳۸۸). شکل (۲) نقشـه گسـل‌های منطقـه بـه شعاع ۱۵۰ کیلومتری از مرکز شهرستان سمنان در آمده است.



شکل ۲- نقشه گسل‌های فعال در محدوده مورد مطالعه (داده‌ها برگرفته از سازمان زمین‌شناسی)

۲-۲-۲- انتخاب زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده برای هر سرچشمه

پس از شناسایی سرچشمه‌ها، زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده برای هر کدام باید تعیین شـود. زمین‌لـرزه کنترل‌کننـده بـه عنوان زمین‌لرزه با بزرگای بیشینه (M_{max}) در نظر گرفته می‌شود که یک سرچشـمه مشـخص مـی‌توانـد ایجـاد نمایـد. برای مشخص ساختن M_{max} می‌توان از بزرگ‌تـرین زمین‌لـرزه تـاریخی روی داده، رابطـه‌های بزرگـا–طـول گسـل و مطالعه دیرینه‌لرزه‌شناسی با حفر ترانشه استفاده نمود. برای اندازه‌گیری بزرگا از مقیاس‌هـای مختلفـی اسـتفاده می‌شـود

که مهم‌ترین آنها شامل بزرگای Ms[1] (بزرگا در مقیاس امواج سطحی)، Mb[2] (بزرگا در مقیاس امواج پیکـری) و Mw[3] (بزرگای گشتاوری) می‌باشند. از نظر ریاضی روابط خاصی بین مقیاسهای مختلف بزرگا وجود دارد که امکان محاسـبه هر یک را از روی دیگری ممکن می‌سازد. در این پژوهش از روابـط تجربـی بـین بزرگـا و طـول گسـیختگی گسـل استفاده شده است.

در رابطه تجربی Mohajer & Norouzi ، ۵۰ درصد طول گسل را بـه‌عنوان طـول گسـیختگی در محاسـبه بزرگـا لحاظ کردند (Mohajer & Norouzi, 1978) (رابطه ۱).

$$M_S = 5.4 + \text{Log } L_R, \ (L_R = 50\% \ L)$$ رابطه (۱)

در رابطه بالا L طول گسل بر حسب کیلومتر است.

فرمول Ambraseys & Melville بر پایه‌ی زمین‌لرزه‌های خاورمیانه تهیـه شـد(Ambraseys & Melville, ,1982) (رابطه ۲).

$$Ms = 1.429\text{Log } L_R + 4.629$$ رابطه (۲)

که در آن L طول گسل فعال بر حسب کیلومتر در پوسته‌ای به ضخامت ۱۲ کیلومتر و Ms بزرگای امـواج سـطحی برای زمین‌لرزه‌های با بزرگای برابر یا بزرگ‌تر از ٦ می‌باشد.

رابطه Nowroozi بر پایه ۱۰ زمین‌لرزه بزرگ ایران و بیشینه طول گسل زمین‌لرزه‌ای ۸۵ کیلومتر و بزرگـای $Ms \geq 6$ پایه‌گذاری شده بود که در رابطه (۳) آمده است (Nowroozi, 1985).

$$Ms = 1.244\text{Log } L + 1.259$$ رابطه (۳)

در رابطه بالا L طول گسل فعال بر حسب متر است.

رابطه Vells & Coppersmith ، بر اسـاس اطلاعـات مربـوط بـه ۲٤٤ زمین‌لـرزه در سراسـر جهـان، از جملـه ۱۲ زمین‌لرزه ایران، به صورت رابطه (٤) است (Vells & Coppersmith, 1994).

$$M_S = 5.16 + 1.211\text{Log } L_R$$ رابطه (٤)

۲-۲-۳- انتخاب روابط کاهندگی مناسب

برای نشان‌دادن جنبش نیرومند زمین از بیشینه شتاب زمین و شدت حاصل از چشمه‌های لرزه‌ای اسـتفاده می‌شـود. برای محاسبه آن از بزرگا و فاصله زمین‌لرزه فرضی استفاده می‌شود. برای این منظور لازم است بـه رژیـم زمین‌سـاختی ناحیه توجه شود، چرا که کاهندگی بیشینه شتاب در رژیم‌های مختلف زمین‌ساختی و بخش‌های مختلف پوسـته زمـین با هم متفاوت است روابط کاهندگی مشخص کننده میزان کاهش انـرژی و دامنـه جنـبش زمـین نسـبت بـه فاصـله از

1 Surface Wave Magnitude
2 Body Wave Magnitude
3 Moment Magnitude

چشمه لرزه‌ای می‌باشد. این روابط پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به توان لرزه‌زایی یک گسل و فاصله ساختگاه از گسل مرتبط می‌سازد که به دو صورت نظری و تجربی بدست می‌آیند. روابط کاهندگی توابعی هستند که پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به متغیرهایی که وابسته به رویداد زمین‌لرزه هستند مرتبط می‌سازد (زارع، ۱۳۸۸).

۲-۲-٤- محاسبه پارامترهای جنبش شدید زمین برای طراحی

با استفاده از رابطه کاهندگی برای زمین‌لرزه‌های کنترل‌کننده مربوط به هر سرچشمه، بیشینه جنبش (شتاب) زمین (PGA) محاسبه می‌گردد. در این حالت، زمین‌لرزه‌ای که بیشترین PGA را در ساختگاه موردنظر ایجاد می‌کند به‌عنوان جنبش زمین‌لرزه سطح طراحی در نظر گرفته می‌شود. از این سطح PGA می‌توان برای به مقیاس درآوردن طیف‌های پاسخ انتخابی برای محل ساختگاه نیز بهره‌گیری نمود (زارع، ۱۳۸۸). در این پژوهش از روابط کاهندگی شدت (٦) تا (۸) و کاهندگی شتاب افقی (۹) تا (۱۱) استفاده شده است

۲-۳- روش تحلیل خطر زمین‌لرزه

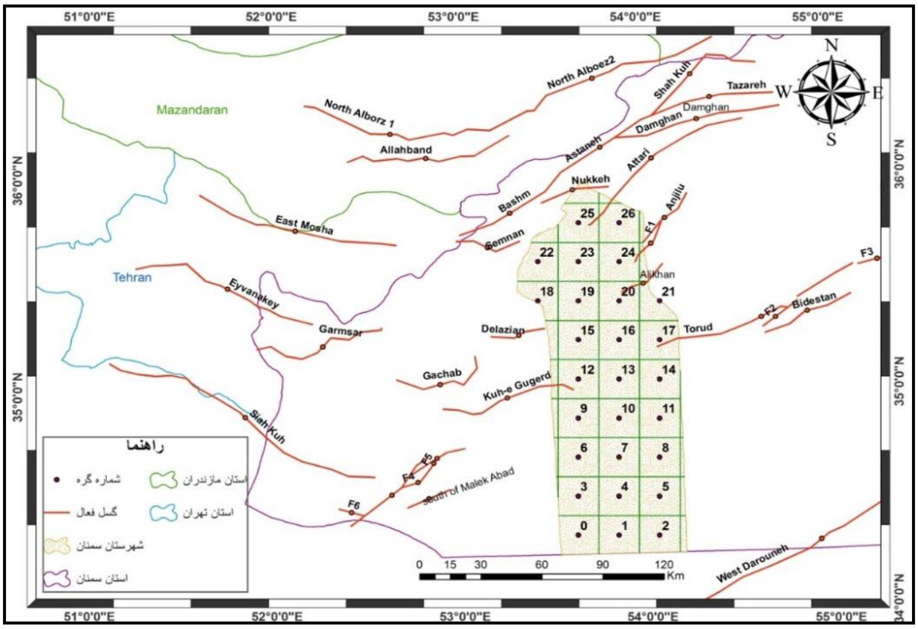
در ابتدا تمامی گسل‌های مهم و فعال محدوده مورد مطالعه جمع‌آوری شد. تعداد گسل‌های فعال و لرزه‌زا با درازای بیش از ۲۰ کیلومتر و برخی از گسل‌های مهم کمتر از ۲۰ کیلومتر، در محدوده مورد نظر به ۳۲ گسل فعال رسید که توضیحات مهم‌ترین آنها در فصل سوم آمده است. سپس طول گسل‌ها محاسبه شد و در مورد گسل‌های طویل و مهم بر اساس روش زمین‌شناختی و لرزه‌ای به قطعاتی تقسیم شدند تا نتایج قابل قبول‌تری در نتایج این پژوهش ارائه دهند.

در مرحله بعد بیشینه بزرگای محتمل بر روی سطح گسل، بر اساس روابط (۱) تا (٤) بدست آمد و بعد از این اعداد میانگین گرفته شد تا این عدد بعنوان بزرگ‌ترین زمین‌لرزه محتمل که هر گسل در صورت جنبش می‌تواند ایجاد کند محاسبه می‌گردد (Ms). سپس با توجه به بیشینه بزرگای محتمل و رابطه تجربی Ambraseys & Melville (Ambraseys & Melville, ,1982) حداکثر شدت زمین‌لرزه در کانون سطحی آن مطابق رابطه(۵) محاسبه شد.

$$Io = 1.3Ms + 0.09 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه بالا Ms میانگین بزرگای بدست آمده گسل و Io شدت زمین‌لرزه در کانون سطحی آن در مقیاس مرکالی می‌باشد. این مقادیر پتانسیل تخریب گسل در کانون سطحی را نشان می‌دهند.

برای تهیه نقشه‌های هم‌شدت و هم‌شتاب محدوده مورد مطالعه شبکه‌بندی شد که این کار در محیط GIS انجام شد. در مرکز هر شبکه یک گره در نظر گرفته شد که این گره‌ها مبنای تحلیل قرار گرفته‌اند. فاصله هر گره از هم در شهرستان سمنان دو کیلومتر بوده که مجموع گره‌ها ۲٦ عدد در نظر گرفته شد.



شکل۳- نقشه شبکه بندی و موقعیت هر گره در شهرستان سمنان

برای محاسبه فاصله گسل‌ها نسبت به گره‌ها، دو فاصله در نظر گرفته شد یکی فاصله نزدیک‌ترین گسل تا گره و دیگری فاصله تاثیرگذارترین گسل بر روی همان گره. تاثیرگذارترین گسل بر روی هر گره از روی بیشینه بزرگای محتمل به گسل و فاصله آن از گره انتخاب شد. در مرحله بعد با استفاده از روابط تجربی Chandra رابطه(٦)، (Chandra, 1981) رابطه(٧) (١٣٨٢ ،سیاهکالی مرادی و همکاران) و رابطه Ambraseys & Melville رابطه (٨)، (Ambraseys & Melville, 1982) با توجه به فاصله هر گره نسبت به نزدیک‌ترین و تاثیرگذارترین گسل، حداکثر شدت زمین‌لرزه برای هر گره حساب شد و مطابق با آن نقشه‌های هم‌شدت زمین‌لرزه‌های محتمل برای شهرستان سمنان تهیه شد.

$$I_R = I_0 + 8.729 - 0.01158R - 6.709Log(R+20)$$ رابطه (٦)

$$I_R = 11.926 + 0.831M_S - 2.7Ln(R+22)$$ رابطه (٧)

$$I_R = Io + 3.44 - 0.002R - 3.1\ Log\ R$$ رابطه (٨)

در رابطه بالا Ms بیشینه بزرگای محتمل برای هر گسل و I_R حداکثر شدت محاسبه شده برای هر گره می‌باشد. درنهایت بیشینه شتاب افقی حاصل از زمین‌لرزه محتمل هر گسل در محل گره‌ها طبق روابط کاهندگی[1] محاسبه شد. در این پژوهش از روابط کاهندگی Ambraseys & Douglas[2] رابطه (٩), رابطه Campell and Bozorgnia[3]

1 Attenuation Relationshi
2 Ambraseys and Douglas
3 Ghodrati Amiri et al

رابطه (۱۰) و رابطـه Ghodrati Amiri et alرابطـه (۱۱) اسـتفاده و از نتـایج میـانگین گرفتـه شـده اسـت و نتـایج آن به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی هم‌شتاب و هم‌شدت برای منطقه مورد مطالعه ارائه می‌شود.

رابطه (۹) $$Logy = -0.659 + 0.202\ M_S - 0.0238R + 0.214$$

که واحد y در رابطه بالا برابر با m/s^2 است.

رابطه (۱۰) $$Lny = -2.896 + 0.812M_w - 1.318\ Ln(\{R^2 + [0.187exp\ (0.616M_w)]^2\}^{0.5}) + 0.112$$

که در رابطه بالا y همان g است و چون میانگین بیشینه بزرگای امواج سطحی مربـوط بـه هـر گـره از ٦ بـزرگ‌تـر است پس به جای Mw می‌توان همان Ms را در نظر گرفت.

رابطه (۱۱) $$Lny = 4.15 + 0.623M_S - 0.96Ln(R) + 0.478$$

که واحد y در رابطه بالا برابر cm/s^2 می‌باشد.

۲-٤- ترسیم نقشه‌های هم‌شدت و هم‌شتاب

پس از محاسبات شتاب افقی و شدت برای هر گره، نقشه پهنه بندی برحسب بیشـینه شـدت بـر اسـاس تفکیـک رنگ از پهنه با خطر نسبی کم تا خطر نسبی بسیار زیاد و نیز نقشه پهنه‌بندی بر اساس بیشینه شدت بر اسـاس خطـوط میزان و نقشه پهنه‌بندی بر اساس بیشینه شتاب افقی بر اساس تفکیک رنگ و نیـز نقشـه پهنه‌بنـدی بـر اسـاس بیشـینه شتاب افقی بر حسب خطوط میزان با استفاده از رهیافت تعینی در نرم‌افزار Arc GIS رسم شد.

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از رهیافت تعیینـی بـه صـورت مـوردی در شهرسـتان سمنان برنامه‌ریزی شد. لذا طبق روش شرح ارائه شده در قست مـواد و روش‌هـا، پـژوهش حاضـر انجـام پذیرفتـه و نتایج حاصل از آن به تفکیک و به ترتیب مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. همـان‌طور کـه در جـدول (۱) نشـان داده شده است با حرکت از جنوب به سمت شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه میزان شدت نهـایی افـزایش پیـدا می‌کند به نحوی که طبق نتایج به‌دست آمده در گره‌های نیمه شمالی منطقه تا $VIII^+$ مرکالی برآورد شـده اسـت امـا ایـن در حالی است که این شاخصه در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه در بعضی از گره‌ها V مرکالی برآورد شده است.

همچنین در همین راستا پس از برآورد مقادیر شتاب افقی نهایی برای گره‌های مورد نظـر کـه در شـکل (۳) نشـان داده شده است به نحوی بود که گره شماره ۲۰ که کمترین فاصله را با گسل علیخان، واقع در شـمال شـرقی منطقـه را دارا بود، با مقدار ۰/۳۷g بیشترین مقدار شتاب افقی نهایی را در منطقه مورد مطالعه بـه خـود اختصـاص داد. همینطـور گره‌های شماره صفر و ۳ که در جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعـه واقـع شـده‌اند بـا مقـدار ۰/۰۵g کمتـرین میزان شتاب افقی نهایی را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص دادند. طبق نتایج به‌دسـت آمـده از محاسـبه میـزان

شتاب افقی نهایی روند این شاخص به صورت افزایشی از جنوب شرق به سمت شمال شرق را نشان داد به نحوی که با حرکت از سمت جنوب شرقی به سمت شمال شرقی به طور کلی مقادیر هر دو شاخص شدت و شتاب افقی روند افزایشی را نشان می‌دهد. که نتایج نهایی حاصل از این محاسبه و اندازه‌گیری‌ها در جدول‌های (۱) و (۲) آمده است.

جدول ۱- نتایج محاسبات بیشینه شدت هر گره نسبت به گسل تاثیرگذار و شدت نهایی هر گره

شماره گره	Io (Mer)	R تاثیرگذارترین گسل	I_R مرادی	I_R چاندرا	I_R امبرسیز و ملویل	I_R (AVE)	I_R نهایی	I_R (Mer)
۰	IX+	۱۱۹/۶	۴/۶	۳	۶/۸	۴/۸	۵	V
۱	X	۹۹/۶	۵	۳/۶	۷	۵/۲	۵/۳	V+
۲	IX+	۷۹/۶	۵/۵	۴/۴	۷/۴	۵/۸	۵/۸	V+
۳	VIII+	۷۹	۴/۹	۳/۴	۶/۴	۴/۹	۵/۱	V+
۴	IX+	۱۰۱/۹	۵	۳/۶	۷	۵/۲	۵/۲	V+
۵	IX	۸۲/۵	۵/۴	۴/۳	۷/۳	۵/۷	۵/۷	V+
۶	IX+	۴۶/۱	۶/۲	۵	۷/۲	۶/۱	۶/۲	VI+
۷	IX+	۶۲/۶	۵/۶	۴/۱	۶/۷	۵/۵	۵/۵	V+
۸	IX+	۸۹/۸	۵/۳	۴	۷/۲	۵/۵	۵/۵	V+
۹	IX+	۳۶/۳	۶/۶	۵/۶	۷/۵	۶/۶	۶/۶	VI+
۱۰	IX+	۸۷/۱	۵/۲	۴/۱	۷/۳	۵/۵	۵/۸	V+
۱۱	VIII+	۷۲	۵/۶	۴/۷	۷/۵	۵/۹	۶	VI
۱۲	IX	۳۶/۲	۶/۶	۵/۶	۷/۵	۶/۶	۶/۶	VI+
۱۳	IX+	۵۵/۷	۵/۸	۴/۵	۶/۹	۵/۷	۵/۸	V+
۱۴	IX	۵۹/۲	۶	۵/۳	۷/۸	۶/۴	۶/۴	VI+
۱۵	IX+	۴۵/۸	۶/۲	۵	۷/۲	۶/۱	۶/۹	VI+
۱۶	VIII+	۳۱/۳	۷/۱	۶/۹	۸/۷	۷/۶	۷/۶	VII+
۱۷	IX+	۵۱	۶/۲	۵/۷	۸	۶/۷	۶/۸	VI+
۱۸	IX+	۵۱/۹	۶	۴/۷	۷	۵/۹	۷/۵	VII+
۱۹	IX+	۸۱	۵/۲	۳/۳	۶/۴	۵	۶/۷	VI+
۲۰	IX+	۷۰/۳	۵/۶	۴/۸	۷/۶	۶	۷/۹	VII+
۲۱	IX+	۵۰/۵	۶/۳	۵/۷	۸/۱	۶/۷	۸/۱	VIII+
۲۲	IX+	۲۸/۳	۷/۱	۶/۱	۷/۹	۷	۷/۱	VII+
۲۳	VIII+	۶۳/۹	۵/۷	۴/۱	۶/۷	۵/۵	۶/۶	VI+
۲۴	IX+	۵۵/۳	۶	۴/۵	۶/۹	۵/۸	۷/۶	VII+
۲۵	VIII+	۴۸/۶	۶/۲	۴/۸	۷/۱	۶/۱	۷/۷	VII+
۲۶	IX	۳۶/۶	۶/۸	۵/۵	۷/۵	۶/۶	۷/۶	VII+

می‌توان اظهار کرد که علت بالا بودن پتانسیل خطر لرزه‌خیزی در شمال شهرستان وجود گسل‌های فعال مربوط به دوران کواترنری باشد. گسل‌های متعددی در قسمت شمالی شهرستان وجود دارد که از جمله بزرگ‌ترین گسل‌های این منطقه می‌توان به گسل عطاری با طول ۸۵ کیلومتر اشاره نمود که مربوط به دوران کواترنری بوده و در امتداد غرب به شرق از شمال شهرستان عبور می‌کند. از دیگر گسل‌های موجود در نیمه شمالی شهرستان می‌توان به گسل‌های آنجیلو، دلازیان و ترود با طول تقریبی به ترتیب ۲۳، ۳٤ و ۷۵ کیلومتر اشاره کرد که قسمتی از هر کدام در داخل محدوده شهرستان سمنان قرار دارند.

جدول ۲- نتایج محاسبات بیشینه شتاب افقی تاثیرگذارترین گسل بر هر گره و بیشینه شتاب

شماره گره	Ms (AVR)	R (km)	کمپل (g)	داگلاس (g)	قدرتی (g)	میانگین شتاب(g)	شتاب افقی نهایی(g)
۰	۷/۴	۱۱۹/۶	۰/۰۵	۰	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۵
۱	۷/۴	۹۹/۶	۰/۰۶	۰	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۶
۲	۷/۴	۷۹/۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۸
۳	۶/۷	۷۹	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۵
۴	۷/۴	۱۰۱/۹	۰/۰۶	۰	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۶
۵	۷/۴	۸۲/۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۸
۶	۷	۴۶/۱	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۱۳
۷	۷	۶۲/۶	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۰۹
۸	۷/۴	۸۹/۸	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۷
۹	۷	۳۶/۳	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۸
۱۰	۷/۳	۸۷/۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۹
۱۱	۷/۳	۷۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۹
۱۲	۷	۳۶/۲	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۸
۱۳	۷	۵۵/۷	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱	۰/۱
۱۴	۷/۳	۵۹/۲	۰/۱	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۱۶
۱۵	۷	۴۵/۸	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۱۴
۱۶	۷/۳	۳۱/۳	۰/۲۱	۰/۲	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۲۵
۱۷	۷/۳	۵۱	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۱۵
۱۸	۷	۵۱/۹	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۲۵
۱۹	۷/۲	۸۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۱۳
۲۰	۷/۳	۷۰/۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۳۱
۲۱	۷/۳	۵۰/۵	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۳۷
۲۲	۶/۹	۲۸/۳	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۲۳
۲۳	۷/۲	۶۳/۹	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۱۷	۰/۱	۰/۱۳
۲۴	۷/۲	۵۵/۳	۰/۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۱۲	۰/۲۶

ادامه جدول ۲

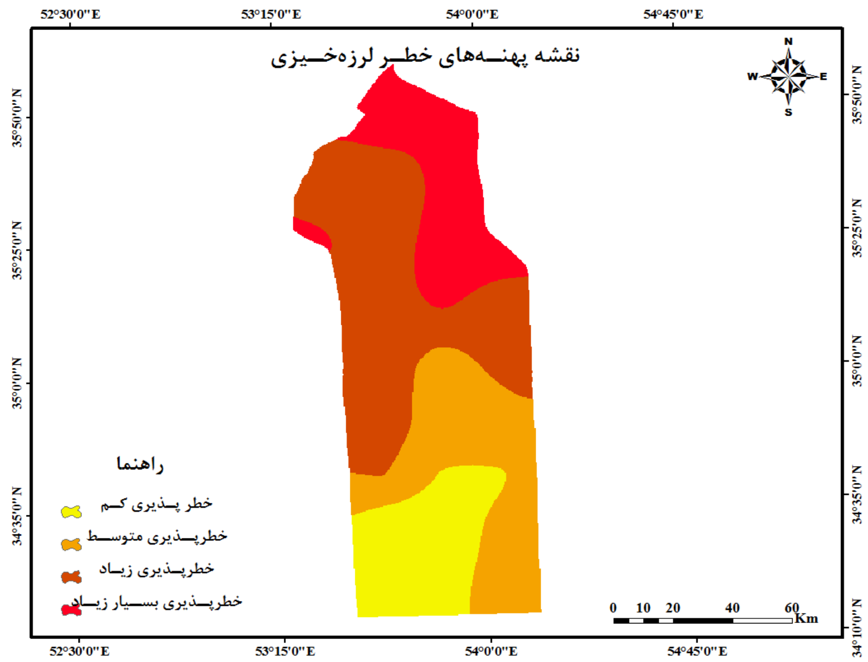
شماره گره	Ms (AVR)	R (km)	کمپل (g)	داگلاس (g)	قدرتی (g)	میانگین شتاب(g)	شتاب افقی نهایی(g)
۲۵	۷/۲	۴۸/۶	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۲۹
۲۶	۷/۲	۳۶/۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۲	۰/۲۵

۳-۱- نتایج حاصل از بیشینه شدت و شتاب افقی زمین‌لرزه

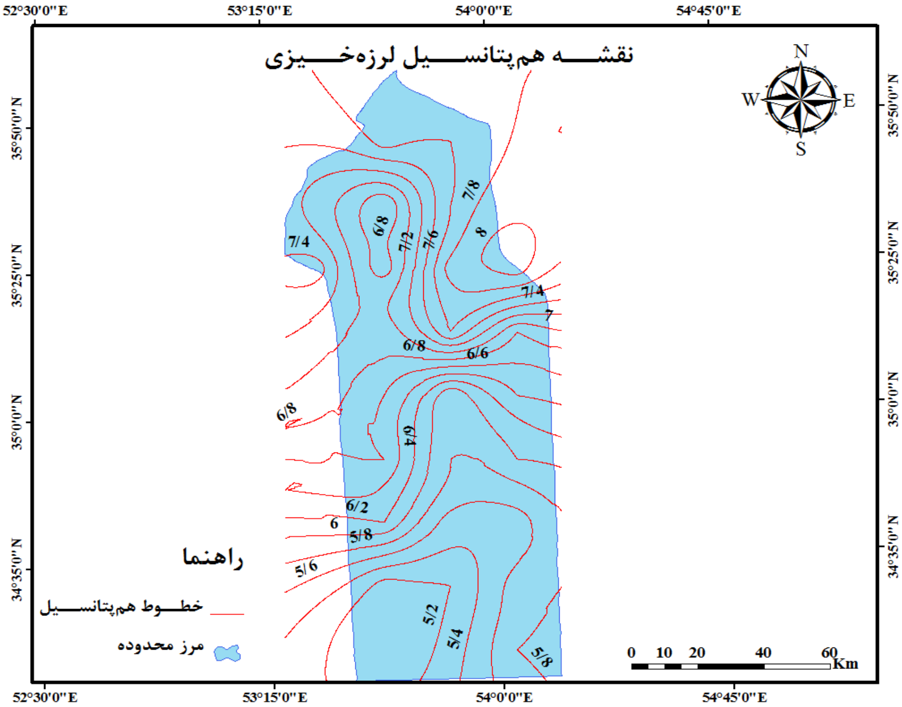
پس از محاسبات مربوط به شدت و شتاب افقی برای هر گره مشخص شده در منطقه مورد مطالعه، نقشه پهنه‌بندی و نقشه خطوط هم‌پتانسیل برای منطقه مورد مطالعه رسم شد و پس از ترسیم نقشه بر اساس میزان خطر محتمل در هر قسمت از منطقه مورد مطالعه، محدوده به پهنه‌هایی با پتانسیل خطرهای متفاوت تقسیم بندی شد و مساحت و موقعیت هر پهنه از خطر روی نقشه ترسیم شد که نتایج حاصل از آن را در شکل (٤) تا (٧) مشاهده می‌کنید.

۳-۲- بیشینه شدت زمین‌لرزه

نتایج حاصل از پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل خطر بر اساس بیشینه شدت زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه در شکل (٤) و (٥) و جدول (۳) نشان داده شده است.



شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی بر حسب بیشینه شدت زمین‌لرزه



شکل ۵- نقشه خطوط هم‌پتانسیل بر حسب بیشینه شدت زمین‌لرزه

جدول (۳) به تفکیک مساحت و درصد هر یک از سطوح خطر را نشان می‌دهد.

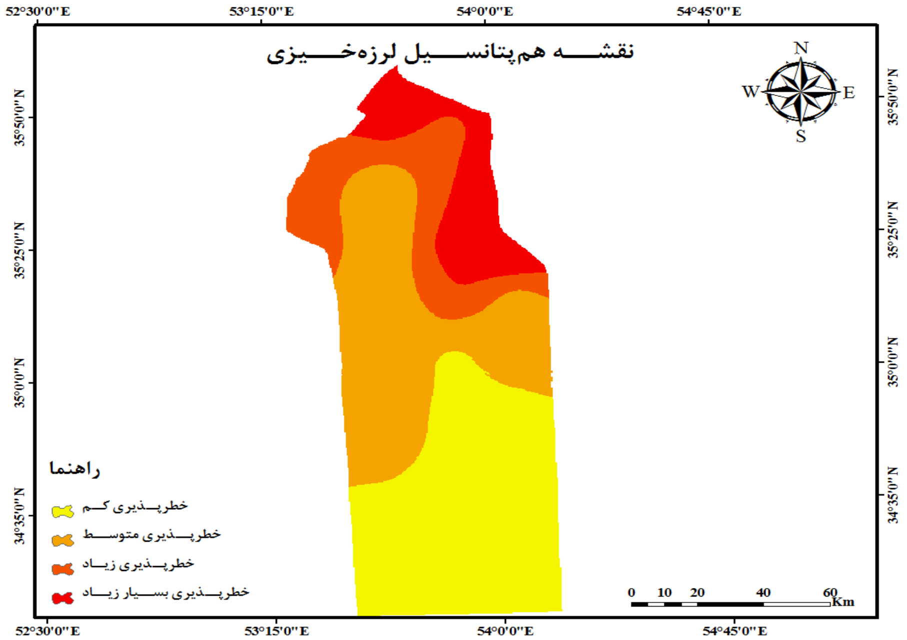
جدول ۳- مشخصات مساحت و درصد پهنه‌های خطر بر حسب بیشینه شدت

سطح خطر	مساحت محدوده (km^2)	درصد محدوده
پهنه با خطر نسبی کم	۱۹۲۳/۵	۱۷/۴۵
پهنه با خطر نسبی متوسط	۲۷۳۳/۶	۲۴/۸۱
پهنه با خطر نسبی زیاد	۳۷۰۴/۸	۳۳/۶۲
پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد	۲۶۵۵/۹	۲۴/۱۰

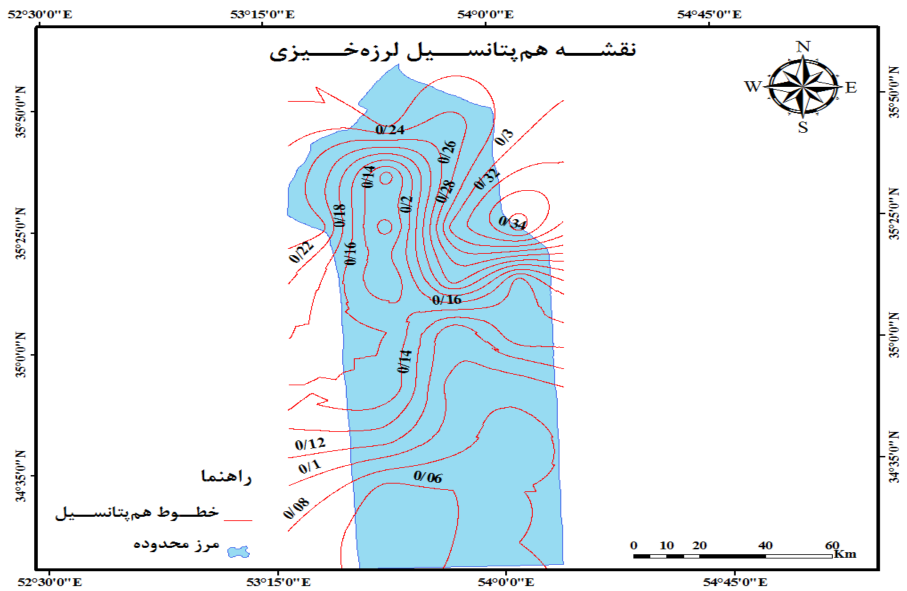
همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است مناطق با پتانسیل خطرپـذیری بالـا، خطرپـذیری متوسـط، خطـر خطرپذیری بسیار بالا و خطرپذیری کم به ترتیب از بیشـترین تـا کمتـرین مسـاحت از منطقـه را بـه خـود اختصـاص داده‌اند. در همین راستا با توجه به این‌که ۲۴/۱۰ درصد از مساحت کل منطقه مربوط به پهنه با خطرپـذیری بسـیار بالـا و ۳۳/۶۲ درصد نیز مربوط به پهنه با خطرپذیری بالا می‌باشد می‌توان بیان نمود که حـدود ۵۰ درصـد از مسـاحت کـل منطقه دارای پتانسیل خطر زیادی از لحاظ لرزه‌خیزی می‌باشد که با توجه به این در پایان می‌توان اظهار داشـت در کـل با توجه به نتایج حاصل منطقه از لحاظ لرزه‌خیزی دارای پتانسیل بالایی می‌باشد.

۳-۳- بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه

نتایج حاصل از پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل خطر بر اساس بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه در منطقه مـورد مطالعـه در شکل (٦) و (۷) و جدول (٤) نشان داده شده است.



شکل ٦- نقشه پهنه‌بندی بر حسب بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه



شکل ۷- نقشه خطوط هم‌پتانسیل بر حسب بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه

جدول (٤) به تفکیک مساحت و درصد هر یک از سطوح خطر را نشان می‌دهد.

جدول ٤- مشخصات مساحت و درصد پهنه‌های خطر بر حسب بیشینه شتاب

سطح خطر	مساحت محدوده (km^2)	درصد محدوده
پهنه با خطر نسبی کم	٤٠٠٤/٦	٣٦/٣٤
پهنه با خطر نسبی متوسط	٣٢٨٠/٨	٢٩/٧٧
پهنه با خطر نسبی زیاد	١٩٥١/٦	١٧/٧٢
پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد	١٧٨٠/٨	١٦/١٧

طبق نتایج به‌دست آمده از پهنه‌بندی منطقه به پهنه‌های با پتانسیل‌های خطر مختلف بر اساس بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه، پهنه با خطر نسبی کم، ٣٦/٣٤ درصد و پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد با ١٦/١٧ درصد از مساحت کل منطقه، به ترتیب بیشترین و کمترین پهنه از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص دادند. هم‌چنین پهنه‌های با خطر نسبی متوسط با ٢٩/٧٧ درصد و پهنه با خطر نسبی زیاد با ١٧/٧٢ درصد از کل محدوده به ترتیب در رده‌های دوم و سوم دارا بودن منطقه از لحاظ وسعت قرار گرفتند.

٤- جمع بندی

پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با استفاده از رهیافت تعیینی به صورت موردی در شهرستان سمنان به سبب اهمیت خاص جغرافیایی، اقتصادی و زمین‌شناسی آن برنامه‌ریزی شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد بیشینه شدت زمین‌لرزه VIII^+ و کمترین میزان آن نیز V می‌باشد هم‌چنین میزان بیشینه شتاب افقی زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه ٠/٣٧g و کمترین مقدار آن نیز ٠/٠٤٨g بود. هم‌چنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان پتانسیل خطر لرزه‌خیزی از جنوب شهرستان سمنان به سمت شمال افزایش پیدا می‌کند به نحوی که پهنه با خطر نسبی بسیار زیاد مربوط به شمال‌شرق شهرستان سمنان و مساحت زیادی از پهنه با خطر نسبی کم، مربوط به جنوب شهرستان سمنان به‌دلیل قرارگیری در دشت کویر می‌باشد و در این منطقه هیچ گسل لرزه‌زایی وجود نداشته و تقریباً رومرکز هیچ زمین‌لرزه‌ای در آنجا ثبت نشده است. می‌توان اظهار کرد که علت بالا بودن پتانسیل خطر لرزه‌خیزی در نیمه شمالی شهرستان، وجود گسل‌های فعال مربوط به دوران کواترنری باشد. گسل‌های متعددی در نیمه شمالی شهرستان وجود دارد که از جمله بزرگ‌ترین گسل‌های این منطقه می‌توان به گسل عطاری با طول ٨٥ کیلومتر اشاره نمود که مربوط به دوران کواترنری بوده و در امتداد غرب به شرق از شمال شهرستان عبور می‌کند. از دیگر گسل‌های موجود در نیمه شمالی شهرستان، می‌توان به گسل‌های آنجیلو، دلازیان و ترود با طول تقریبی به ترتیب ٢٣، ٣٤ و ٧٥ کیلومتر اشاره کرد که قسمتی از هر کدام در داخل محدوده شهرستان سمنان قرار دارند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مساحت پهنه با خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد با توجه به تراکم جمعیت، قابل

ملاحظه بوده است و نکته مسلم در لرزه‌زا بودن و افزایش لرزه‌خیزی در نیمه شمالی شهرستان که محل اصلی تمرکز جمعیت شهرستان است، می‌باشد که باید این مسئله مورد توجه و دقت نظر ویژه مسئولان، برنامه‌ریزان و مهندسین قرار بگیرد.

کتابنامه

آژانس همکاری بین المللی ژاپن (JICA)، مرکز تحقیقات زیست محیطی تهران بزرگ؛١٣٨٠. گزارش نهایی ریز پهنه بندی لرزه‌ای تهران بزرگ.

حاتمی نژاد، حسین؛ فتحی، حمید؛ عشق آبادی، فرشید؛ ١٣٨٨. ارزیابی میزان آسیب پذیری لرزهای در شهر تهران نمونهٔ مورد مطالعه : منطقهٔ ١٠ شهرداری تهران. پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ٤١، شمارهٔ ٦٨ ، ص ٢٠-١.

زارع، مهدی؛ ١٣٨٤. مقدمه‌ای بر زمین‌لرزه شناسی کاربردی. چاپ اول. تهران: انتشارات پژوهشگاه بین المللی زمین‌لرزه شناسی و مهندسی زمین‌لرزه.

زارع، مهدی؛ ١٣٨٨. مبانی تحلیل خطر زمین‌لرزه، انتشارات پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

سیاهکلی مرادی، علی؛ میرزایی، نوربخش؛ رضاپور، مهدی؛ ١٣٨٣. روابط تضعیف شدت زمین‌لرزه در ایران، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

شاهپسندزاده، مجید؛ حیدری، مهدی؛ ١٣٨٢. بررسی مقدماتی لرزه زمین ساخت و تاریخچه لرزه خیزی در استان اصفهان.

صفایی، همایون؛ ١٣٨٣. طرح پژوهشی شناسایی و بررسی توان لرزه‌های گسل‌های اطراف اصفهان. معاونت شهرسازی و معماری شهرداری اصفهان.

قهرودی تالی، منیژه؛ پورموسوی، سید موسی؛ خسروی، سمیه؛ ١٣٩١. بررسی پتانسیل تخریب لرزه خیزی با به کارگیری مدل‌های چند شاخصه (مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره سوم، ص ٦٨-٥٧.

مهاجراشجعی، ارسلان؛ ١٣٦٠. ثبت و تفسیر لرزه‌های محلی و ویژگی‌های زلزله خیزی مناطق شهرکرد و اصفهان. امور و ویژهٔ زلزله شناسی سازمان انرژی اتمی ایران.

Amberseys, N., Melville, C.P., 1982. A history of Persian earthquake, Cambridge earth Science series. Cambridge University Press, UK.

Ambraseys, N., Douglas, J., 2000. Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response. ESEE Report 00-4. Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.

Brunet, M.F., Korotaevb, M.V., Ershovb, A.V., Anatoly M. & Nikishin A.M., 2003. The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling. Sedimentary Geology. 156, 119–148.

Campbell, K.W., Bozorgnia, Y., 2003. Updated Near-Source Ground Motion (Attenuation) Relations for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration and

Acceleration Response Spectra. Bulletin of the Seismological Society of America. 93(1),314-331.

Chandra, U., McWhorted, J. G., Nowroozi, A.A., 1979. Attenuation of intensities in Iran. Bulletin of the Seismological Society of America. 69, 237-250.

Coppersmith, K. J., Wells, D. L., 1994. New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture, Length, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America. 84, 974 -1002.

Feng, X., Xuping, C., Aizhu, R., Xinzheng, L., 2008. Earthquake Disaster Simulation for an Urban Area, with GIS, CAD, FEA, and VR Integration, Tsinghua Science and Technology. 13, 311-316.

Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Manouchehri Dana, F., 2007. Attenuation relationships for Iran. J. Earthquake Eng. 11, 469-492.

King, A., Kiremidndjian A., 1995. Law Lincho H., Basoz Nersin I, Earthquake Damage and loss Estimation through GIS. International conference on seismic zonation. 265-272.

Lee, C.F., Ding, Y.Z., Huang, X.H., 2000. Seismic Hazard Analysis of the Hong Kong Region, JSEE: Fall 2000. 2(4), 9-18.

Matsuoka, M., Midorikawa, S., 1995. GIS Based Integrated Seismic hazard mapping for a large Metropolitan Area. In International conference on seismic zonation. 1334-1341.

Mohajer, A. Nowroozi, A. A. 1978. Observed and Probable Intensity Zoning of Iran. Tectonophysics. 49, 21-30.

Nowroozi, A. A., 1985. Empirical Relations Between Magnitudes and Fault Parameters for Earthquakes in Iran. Bull. Seismol. Soc. Am. 75, 1327-1338.

Yuan, Z., 2003. Development of A GIS Interface for Seismic hazard Assessment, International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede, The Netherlands.